

# ナノインプリント用3次元ダイヤモンドモールドの開発

電子制御工学科 清原修二, 電気・制御システム工学専攻 柏木大幸

## 1. はじめに

ナノインプリントリソグラフィ (Nanoimprint Lithography : NIL) 技術は, 光露光や電子ビーム露光などの大型でかつ高価な装置を必要とする微細加工技術に比べ, 安価でナノサイズパターンの一括転写を実現できるため, 近年, ナノテクノロジーの一つとして注目されている<sup>1)</sup>. 一般にNILのモールド(型)材料に使われているシリコン (Si) や二酸化シリコン (SiO<sub>2</sub>) は圧力による耐久性が弱く繰り返しの使用に耐えられないなどの問題点がある<sup>2)</sup>. そこで本研究では, これらの問題を解決するモールド材料として, 高硬度, 低熱膨張係数, 耐摩耗性, 低摩擦係数を有するダイヤモンドを提案した.

NIL技術は転写材料にPMMA (Poly methyl methacrylate) を用いる熱サイクルNILで行われるが, 加熱・冷却の温度変化によりモールドが膨張・収縮するため転写パターン精度の低下などの問題点がある. そこで本研究では, 室温で高粘性であり, 酸素イオンビームに耐性があると考えられるSiOを主成分とするポリシロキサン[-R<sub>2</sub>SiO-]<sub>n</sub> (HSG-R7-13, 日立化成工業株) を転写材料として提案した. また, 電子ビームレジストとしてもポリシロキサンを用い, 電子ビームリソグラフィで所望のナノマスクパターンを形成し, 電子サイクロトロン共鳴 (Electron Cyclotron Resonance : ECR) 酸素イオンビーム加工の最適加工条件を見出した. その条件で, 3次元ダイヤモンドモールドを作製し, その有用性を本研究で開発した室温NILで確かめた.

## 2. ポリシロキサン膜の酸素イオンビームエッチング耐性

ポリシロキサンは, 酸素イオンビームを照射すると表面に酸化膜を形成するため酸素イオンビームに対し耐性ができ, そのままマスクとしてダイヤモンド薄膜のナノパターンを形成できると考えられる. そこで, ポリシロキサン膜のエッチング耐性について検討するために, シリコンウエハ (10×10×3.2 mm<sup>3</sup>) 上に膜厚0.5 μmが得られるように, ポリシロキサンを回転数3000 rpmで時間10 secスピコートし, ECRイオンビーム加工装置 (EIS-200ER, 株エリオニクス) を用いて加工を行った. 電子線3次元粗さ解析装置 (ERA-8900FE, 株エリオニクス) で測定した加工後の深さ (加工速度) をFig.1に示す. ダイヤモンド薄膜とポリシロキサン膜の加工速度は, イオンエネルギーが増すに従って線形的に増加し, その選択比はイオンエネルギー400 eVで最大4.7が得られ, これを最適加工条件とした.

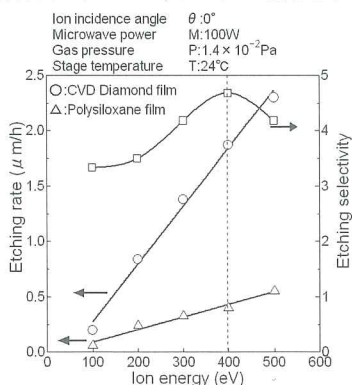


Fig.1 Dependences of the etching rate and the etching selectivity of CVD diamond and polysiloxane films

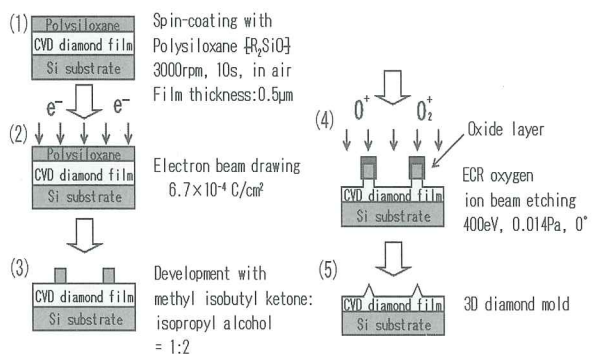


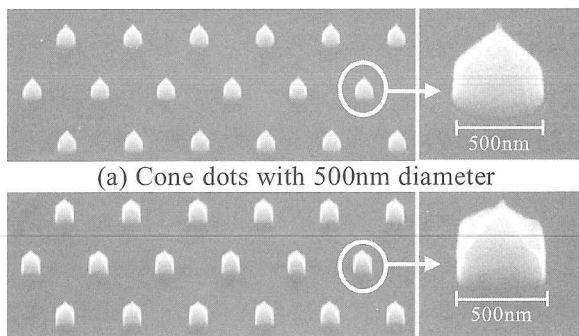
Fig.2 Nanopatterning process of CVD diamond film to fabricate 3D diamond mold using polysiloxane

### 3. 3次元ダイヤモンドモールドの作製

電子ビームレジストはネガ型の特性を示し、PMMAとほぼ同じ感度 ( $5.9 \times 10^{-5} \text{ C/cm}^2$ ) を持つポリシロキサンを用いた。電子ビームリソグラフィによる3次元ダイヤモンドモールドの作製プロセスをFig.2に示す。まず、ダイヤモンド薄膜上に膜厚 $0.5 \mu\text{m}$ が得られるように、ポリシロキサンを回転数3000 rpmで時間10 secスピンコートし、電子ビームドーズ量 $6.7 \times 10^{-4} \text{ C/cm}^2$  で所望のナノマスクパターンを描画した。この試料をMIBK (Methyl isobutyl ketone) とIPA (Isopropyl alcohol) を1:2の比率で混合した現像液で現像することによりナノマスクパターンを形成した。次に、試料を最適加工条件でECR酸素イオンビーム加工を行った後、形成されたナノダイヤモンドパターンを電子線3次元粗さ解析装置で観察した。Fig.3に本研究で作製した高さ約 $1 \mu\text{m}$ , 最小500nm直径・角の円錐・四角錐のドットパターンを示す。形成された3次元ドットパターンの形状は、マスクパターンの端に小さなファセットが形成されるため、平面よりも角度がある面の方が加工速度が速いため、加工の進行とともに先鋭化したと考えられる。

### 4. 作製した3次元ダイヤモンドモールドの評価

3次元ダイヤモンドモールドを用いて、本研究で開発した室温NILにより、モールドの評価を行った。膜厚 $0.5 \mu\text{m}$ が得られるように、ポリシロキサンをシリコンウエハ上に回転数3000 rpmで時間10 secスピンコートし、シリコンウエハ上にポリシロキサン膜を形成した。本研究で開発した駆動力としてDCコアレスモーターを用いたコンパクトナノインプリント装置 (幅30 cm, 奥行き30 cm, 高さ48 cm) を用い、最適インプリント条件のインプリント圧力 $0.5 \text{ MPa}$ で5 minポリシロキサン膜が硬化するまでモールドを押しつけ、ポリシロキサン膜上にモールドパターンを転写した。インプリントされたポリシロキサンパターンの原子間力顕微鏡 (AFM) (SPA-300, SII NanoTech. Inc.) 像をFig.4に示す。AFM像より、モールドパターンが精度よく転写され、3次元ダイヤモンドモールドの有用性を確認できた。



(a) Cone dots with 500nm diameter  
(b) Tetragonal pyramid dots with 500nm width  
Fig.3 SEM photographs of 3D diamond mold

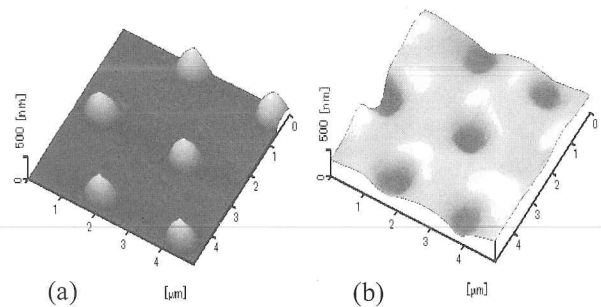


Fig.4 AFM images of the 3D diamond mold (a) and imprinted polysiloxane pattern (b)

### 5. おわりに

本研究で開発した作製プロセスで、最小500 nm直径・角の円錐・四角錐ドットの3次元ダイヤモンドモールドが作製でき、その有用性を確認した。今後の課題として、転写されたポリシロキサンパターンをECR酸素イオンビーム加工し、ダイヤモンド薄膜のナノパターンを作製する。そして、ダイヤモンドの特異な性質を利用したフラットパネルディスプレイ用電子放出源やマイクロマシン用ギアなどのしゅう動部品を作製するためのモールドの開発を行う。

### 参考文献

- 1) S. Y. Chou, P. R. Kraus and P. J. Renstrom, Appl. Phys. Lett., Vol.67, No.20-21, pp.3114-3116, 1995.
- 2) S. Kiyohara and K. Mori, J. Materials Sci.: Materials in Electronics, Vol.17, No.3, pp.199-203, 2006.